

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

2001-210886

Abstract of JP2001210886

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a stacked type piezo electric actuator, which can ensure full connection between an inner electrode and an outer electrode, even during continuous operation in a high applied field at a fast speed for a long period.

**SOLUTION:** A recessed groove 7, where the end part of a plurality of inner electrodes 3a, 3b is exposed each, is formed in the side surface of an actuator body 1 where a first outer electrode 6a is formed. A recessed groove 7, where an end part of the first inner electrode 3a is exposed, is filled with a conductor 9 and a recessed groove 7, where an end part of the second inner electrode 3b is exposed is filled with an insulator 11. A recessed groove 7, where an end part of a plurality of inner electrodes 3a, 3b is exposed each, is formed in the side surface of the actuator body 1, where a second outer electrode 6b is formed, and a recessed groove 7 wherein an end part of the first inner electrode 3a is exposed is filled with the insulator 11 and the recessed groove 7 with the end part of the second inner electrode 3b being exposed is filled with the conductor 9.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-210886

(P2001-210886A)

(43)公開日 平成13年 8 月 3 日(2001.8.3)

(51)Int.Cl.

識別記号

F I

テ-マコ-ト\*(参考)

H 0 1 L 41/083

H 0 2 N 2/00

B

H 0 2 N 2/00

H 0 1 L 41/08

S

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 8 頁)

(21)出願番号

特願2000-24705(P2000-24705)

(22)出願日

平成12年 1 月28日(2000. 1. 28)

(71)出願人 000006633

京セラ株式会社

京都府京都市伏見区竹田烏羽殿町 6 番地

(72)発明者 芦田 幸喜

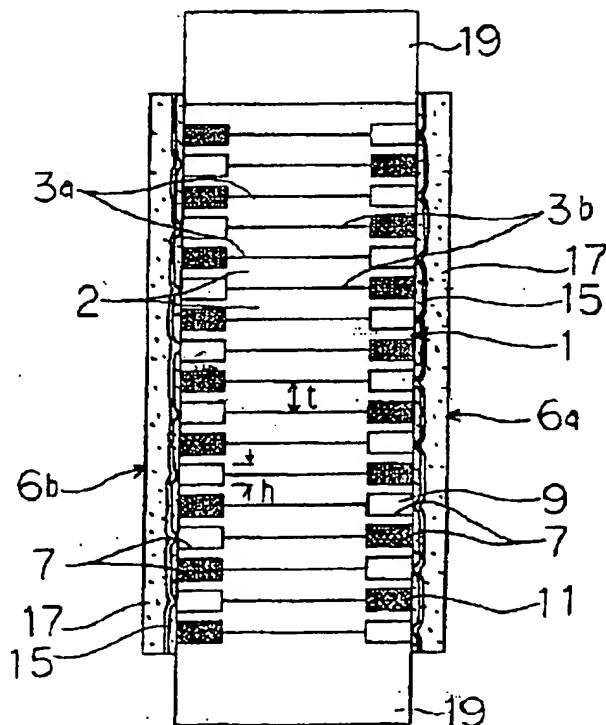
鹿児島県国分市山下町 1 番 4 号 京セラ株式会社総合研究所内

(54)【発明の名称】 積層型圧電アクチュエータ

(57)【要約】

【課題】 高い印加電界で高速で長期間連続作動する場合でも、内部電極と外部電極との接続を十分に確保できる積層型圧電アクチュエータを提供する。

【解決手段】 第 1 外部電極 6 a が形成されるアクチュエータ本体 1 の側面に、複数の内部電極 3 a、3 b の端部がそれぞれ露出する凹溝 7 を形成し、第 1 内部電極 3 a の端部が露出した凹溝 7 に導電体 9 を、第 2 内部電極 3 b の端部が露出した凹溝 7 に絶縁体 1 1 を充填するとともに、第 2 外部電極 6 b が形成されるアクチュエータ本体 1 の側面に、複数の内部電極 3 a、3 b の端部がそれぞれ露出する凹溝 7 を形成し、第 1 内部電極 3 a の端部が露出した凹溝 7 に絶縁体 1 1 を、第 2 内部電極 3 b の端部が露出した凹溝 7 に導電体 9 を充填した。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】複数の圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなり、前記内部電極が交互に第1内部電極または第2内部電極とされたアクチュエータ本体と、該アクチュエータ本体の異なる側面にそれぞれ設けられ、前記第1内部電極同士をそれぞれ電氣的に接続する第1外部電極、および前記第2内部電極同士をそれぞれ電氣的に接続する第2外部電極とを具備する積層型圧電アクチュエータであって、前記第1外部電極が形成される前記アクチュエータ本体の側面に、前記複数の内部電極の端部がそれぞれ露出する凹溝を形成し、前記第1内部電極の端部が露出した凹溝に導電体を、前記第2内部電極の端部が露出した凹溝に絶縁体を充填するとともに、前記第2外部電極が形成される前記アクチュエータ本体の側面に、前記複数の内部電極の端部がそれぞれ露出する凹溝を形成し、前記第1内部電極の端部が露出した凹溝に絶縁体を、前記第2内部電極の端部が露出した凹溝に導電体を充填したことを特徴とする積層型圧電アクチュエータ。

【請求項2】外部電極を構成する金属薄板が凹溝内の導電体に当接した状態で固着されていることを特徴とする請求項1記載の積層型圧電アクチュエータ。

【請求項3】金属薄板を導電性接着剤により被覆して外部電極が構成されるとともに、凹溝内の導電体に凹部が形成されており、前記金属薄板を被覆した導電性接着剤が、前記導電体の凹部に充填されていることを特徴とする請求項1または2記載の積層型圧電アクチュエータ。

【請求項4】金属薄板を導電性接着剤により被覆して外部電極が構成されるとともに、凹溝内の導電体が外方へ向かって突出しており、該導電体の突出部に前記金属薄板が当接した状態で固着され、かつ、前記金属薄板を被覆した導電性接着剤が、前記導電体の突出部周囲に充填されていることを特徴とする請求項1または2記載の積層型圧電アクチュエータ。

【請求項5】金属薄板が、NiおよびFeを含有する合金からなることを特徴とする請求項2乃至4のうちいずれかに記載の積層型圧電アクチュエータ。

【請求項6】金属薄板が、金属メッシュまたは波板形状の金属薄板からなることを特徴とする請求項2乃至5のうちいずれかに記載の積層型圧電アクチュエータ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、積層型圧電アクチュエータに係わり、例えば、自動車用燃料噴射弁、光学装置等の精密位置決め装置や振動防止用の駆動素子等に使用される積層型圧電アクチュエータに関するものである。

## 【0002】

【従来技術】従来、電歪効果を利用して大きな変位量を

得るために、圧電体と内部電極を交互に積層した積層型圧電アクチュエータが提案されている。積層型圧電アクチュエータには、同時焼成タイプと圧電磁器と内部電極板を交互に積層した単板積層タイプの2種類に分類されており、低電圧化、製造コスト低減の面から考慮すると、同時焼成タイプの積層型圧電アクチュエータが薄層化に対して有利であるために、その優位性を示しつつある。

【0003】同時焼成タイプの積層型圧電アクチュエータとして、例えば、特公平6-66484号公報に記載されているように、アクチュエータ本体の側面に露出した内部電極の端部に一層おきにガラスからなる絶縁層を被覆し、外部電極には、この絶縁層と絶縁層の間に絶縁層が形成されていない内部電極の端部を導電性ガラス膜で被覆し、電氣的に接続した積層型圧電アクチュエータが開示されている。

【0004】しかしながら、特公平6-66484号公報に開示された積層型圧電アクチュエータでは、アクチュエータ本体の側面に露出した内部電極の端部には一層おきにガラスからなる絶縁層が被覆され、内部電極とその両側の圧電体が強固に接合されており、外部電極と内部電極との絶縁性が確保されているが、長期間連続駆動させた場合、導電性ガラス膜に割れが生じ、この割れを介して内部電極と外部電極との間で剥離が生じ、一部の圧電体に電圧が供給されなくなり、駆動中に変位特性が変化するという問題があった。

【0005】また、このようなアクチュエータにおいては、外部電極にリード線を半田付けにより形成することから、外部電極に使用している導電性ガラス膜が半田食われを生じ、導通の信頼性を著しく低下させる問題があった。

【0006】このような問題に対し、特開昭63-153870号公報では、外部電極と内部電極の剥離を防止するため、リード線、外部電極、内部電極間の導通の信頼性を向上させるため、積層アクチュエータ本体の側面に露出した内部電極の端部に一層おきにガラスからなる絶縁層を被覆し、外部電極には、絶縁層と同じピッチで、かつ絶縁層の断面よりやや大きい凹部を形成し、この凹部に絶縁層を收容するようにして、かつ、凹部間の凸部に、絶縁層が形成されていない内部電極の端部を、導電性接着剤で接着した積層型圧電アクチュエータが開示されている。

【0007】また、特開平10-229227号公報においては、積層圧電体の側面に基礎金属被膜を被覆し、該基礎金属被膜と部分的な接触箇所を介して、三次元構造化された導電性の電極が結合され、前記三次元構造化された導電性電極が、接触箇所において伸長可能な状態で形成された積層型圧電アクチュエータが開示されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】近年においては、小型の圧電アクチュエータで大きな圧力下において大きな変位量を確保するため、より高い電界を印加し、長期間連続駆動させることが行われているが、高電界、高圧力下で長期間連続駆動させた場合には、特開昭63-153870号公報に開示された積層型圧電アクチュエータにおいては、圧電体間に形成された内部電極と正極、負極用の外部電極との間で剥離が発生し、一部の圧電体に電圧供給されなくなり、駆動中に変位特性が変化するという問題があった。

【0009】また、特開平10-229227号公報に開示されたアクチュエータであっても、基礎金属被膜と圧電体の間の界面において剥離が生じ、その剥離が進行することにより、内部電極と外部電極の導通不良を生じ、一部の圧電体に電圧供給されなくなり、駆動中に変位特性が変化するという問題があった。

【0010】本発明は、高い印加電界で高速で長期間連続動作する場合でも、内部電極と外部電極との接続を十分に確保でき、外部電極と内部電極の剥離の生じない信頼性の高い積層型圧電アクチュエータを提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明の積層型圧電アクチュエータは、複数の圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなり、前記内部電極が交互に第1内部電極または第2内部電極とされたアクチュエータ本体と、該アクチュエータ本体の異なる側面にそれぞれ設けられ、前記第1内部電極同士をそれぞれ電氣的に接続する第1外部電極、および前記第2内部電極同士をそれぞれ電氣的に接続する第2外部電極を具備する積層型圧電アクチュエータであって、前記第1外部電極が形成される前記アクチュエータ本体の側面に、前記複数の内部電極の端部がそれぞれ露出する複数の凹溝を形成し、前記第1内部電極の端部が露出した凹溝に導電体を、前記第2内部電極の端部が露出した凹溝に絶縁体を充填するとともに、前記第2外部電極が形成される前記アクチュエータ本体の側面に、前記複数の内部電極の端部がそれぞれ露出する複数の凹溝を形成し、前記第1内部電極の端部が露出した凹溝に絶縁体を、前記第2内部電極の端部が露出した凹溝に導電体を充填したものである。

【0012】このような積層型圧電アクチュエータでは、内部電極と外部電極が、アクチュエータ本体内に埋設された、内部電極の厚みよりも幅広の導電体を介して接続されるため、内部電極と外部電極の剥離を抑制することができる。これにより、高い印加電界で高速で長期間連続駆動させる場合においても、外部電極と内部電極が剥離や断線することなく高い耐久性を備えた信頼性の高い積層型圧電アクチュエータを提供することができる。

【0013】また、外部電極を構成する金属薄板が凹溝内の導電体に当接した状態で固着されていることが望ま

しい。このように、アクチュエータ本体の側面に形成した凹溝内の導電体と、金属薄板を溶接、ろう付けなどによって強固に接合することにより、内部電極と外部電極の接合強度を向上できる。

【0014】さらに、金属薄板を導電性接着剤により被覆して外部電極が構成されるとともに、凹溝内の導電体に凹部が形成されており、前記金属薄板を被覆した導電性接着剤が、前記導電体の凹部に充填されていることが望ましい。これは、金属薄板を被覆する導電性接着剤が凹溝内の導電体の凹部に充填されることにより、導電性接着剤にアンカー効果が生じ、平面上で接着される場合よりも更に導電性接着剤の固着力が増加し、これにより、内部電極と外部電極の剥離をさらに抑制できる。

【0015】また、金属薄板を導電性接着剤により被覆して外部電極が構成されるとともに、凹溝内の導電体が外方へ向かって突出しており、該導電体の突出部に金属薄板が当接した状態で固着され、かつ、前記金属薄板を被覆した導電性接着剤が、前記導電体の突出部周囲に充填されていることが望ましい。このようにすることにより、導電性接着剤にアンカー効果が生じ、平面上で接着される場合よりも更に導電性接着剤の固着力が増加し、これにより、内部電極と外部電極の剥離をさらに抑制できる。

【0016】さらに、金属薄板が、NiおよびFeを含有する合金からなることが望ましい。このような金属薄板を用いることにより、圧電アクチュエータの伸縮により外部電極に応力が作用した場合においても、発生した応力に対して金属薄板が十分な強度を有するため、金属薄板の断裂を抑制し、高耐久性を備えた積層型圧電アクチュエータを提供することができる。

【0017】また、金属薄板が、金属メッシュまたは波板形状の金属薄板からなることが望ましい。圧電アクチュエータの伸縮により外部電極に応力が作用した場合においても、発生した応力を金属メッシュまたは波板形状の金属薄板の変形により緩和でき、外部電極の断裂を抑制し、高耐久性を備えた積層型圧電アクチュエータを提供することができる。

【0018】

【発明の実施の形態】図1は本発明の積層型圧電アクチュエータの断面図であり、図2は図1の一部を拡大して示す断面図である。図1および図2において、符号1は、複数の圧電体2と複数の内部電極3a、3bとを交互に積層してなる四角柱状のアクチュエータ本体を示すもので、このアクチュエータ本体1の対向する2つの側面には、第1内部電極3aが電氣的に接続される第1外部電極6a、および第2内部電極3bが電氣的に接続される第2外部電極6bが形成されている。

【0019】圧電体2は、例えば、チタン酸ジルコン酸鉛 $Pb(Zr, Ti)O_3$ （以下PZTと略す）或いは、チタン酸バリウム $BaTiO_3$ を主成分とする圧電

セラミック材料などが使用されるが、これらに限定されるものではなく、圧電性を有するセラミックスであれば何れでも良い。この圧電体材料としては、圧電歪み定数  $d_{33}$  が高いものが望ましい。また、圧電体2の厚み  $t$ 、つまり内部電極3間の距離は、小型化および高い電界を印加するという点から  $0.05 \sim 0.2 \text{ mm}$  であることが望ましい。

【0020】内部電極3a、3bは、アクチュエータ本体1の4つの側面全てに端部が露出しており、アクチュエータ本体1の第1外部電極6aが形成された側面には、全ての内部電極3a、3bの端部がそれぞれ露出する複数の凹溝7が形成され、第1内部電極3aの端部が露出した凹溝7には導電体9が、第2内部電極3bの端部が露出した凹溝7には絶縁体11が充填されている。

【0021】また、アクチュエータ本体1の第2外部電極6bが形成された側面には、全ての内部電極3a、3bの端部がそれぞれ露出する複数の凹溝7が形成され、第1内部電極3aの端部が露出した凹溝7には絶縁体11が、第2内部電極3bの端部が露出した凹溝7には導電体9が充填されている。

【0022】凹溝7の積層方向の高さ  $h$  は圧電体2の厚み  $t$  の約  $1/5 \sim 1/3$  とされている。これは、凹溝7の積層方向の高さ  $h$  が圧電体2の厚み  $t$  の  $1/3$  よりも大きい場合には、凹溝7の高さ  $h$  が圧電体2の厚み  $t$  の  $1/2$  では溝として成立しなくなり、また、 $1/2$  以下でも凹溝7が削除された残りの圧電体2の厚みが薄くなり、強度が保てなくなり、加工時のハンドリングにおいて破損してしまう危険があるからである。また、凹溝7の高さ  $h$  が圧電体2の厚み  $t$  の  $1/5$  よりも小さい場合には、凹溝7の高さ  $h$  が極端に小さくなり、加工が困難となったり、導電体9及び絶縁体11の充填不良が生じ易くなるためである。凹溝7の形状は断面が四角形状とされているが、断面が円形状であっても良い。

【0023】導電体9は、例えば、Agを主体とする合金、Cuを主体とする合金等の導体金属材料からなり、凹溝7の形成後、スクリーン印刷やディッピング等により凹溝7内に充填し、約  $600^\circ\text{C} \sim 900^\circ\text{C}$  で焼成することにより得られる。

【0024】また、絶縁体11は、例えば、ガラス、エポキシ樹脂、ポリイミド樹脂、ポリアミドイミド樹脂、シリコンゴム等の絶縁性材料からなり、凹溝7内に絶縁性材料を充填し、硬化することにより得られる。尚、絶縁体11は低ヤング率の材質、例えばシリコンゴム等が好ましい。これは、高ヤング率の材質を充填すると圧電アクチュエータとして駆動した場合の伸長により絶縁体11と圧電体2の界面で剥離を生じ、絶縁性がとれなくなったり、破壊に至ったり、もしくは、圧電体2に亀裂が生じ、破壊に至る虞があるからである。

【0025】ここで、凹溝7内に充填される導電体9と絶縁体11の形成の順序は、一体焼成して得られたアク

チュエータ本体1に凹溝7を形成し、この凹溝7内に一つ置きに導電体9を充填し、焼成した後に、残りの凹溝7内に絶縁体11を充填することが望ましい。

【0026】外部電極6a、6bは、金属薄板15と導電性接着剤17とから構成されており、金属薄板15は、導電性接着剤17中に埋設して形成され、金属薄板15は、凹溝7内の導電体9に当接した状態で、ろう付けしたり、溶接することにより固着され、これにより、外部電極6a、6bがアクチュエータ本体1に接合されている。金属薄板15が導電体9に当接する部分の面積は広い方、即ち、平坦であることが、確実に固着するという点から望ましい。また、外部電極6a、6bは、導電性接着剤17によってもアクチュエータ本体1に接合されている。

【0027】金属薄板15は、導電性があり、加工可能であればいずれの金属でもかまわないが、好ましくは、ステンレス (NiおよびFeを含有する合金)、Ni-Fe合金、Ni-Fe-Co合金等の高ヤング率を有する金属により形成されることが望ましい。これは、NiおよびFeを主体とする高ヤング率を有する合金を用いることにより、圧電アクチュエータの伸縮によって外部電極6a、6bに応力が作用した場合においても、発生した応力に対し十分な強度を保つため、金属薄板15の断裂を抑制が可能となるためである。

【0028】導電性接着剤17としては、ニッケル、銀、白金、金などの周期律表第6～9族の比較的体積固有抵抗が小さい導電剤を含有するポリイミド樹脂、導電性シリコンゴム等があるが、これに限定されるものではない。

【0029】また、アクチュエータ本体1の積層方向の両端面には、アクチュエータ本体1を機械的に保持し、発生するパワーを外へ伝達するための不活性部19が積層され、接合されている。さらに、図示されていないが、外部電極6a、6bの外側を含むアクチュエータ本体1の側面全体がシリコンゴム等の絶縁被覆材によって被覆され、これにより、外部からの水分の進入を防ぐことができ、内部電極及び外部電極間のエレクトロマイグレーションの発生を抑制し、電極接続の信頼性を確保できる。

【0030】以上のように構成された積層型圧電アクチュエータは、以下のプロセスにより製造される。まず、チタン酸ジルコン酸鉛  $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$  などの圧電体セラミックスの仮焼粉末と、有機高分子からなるバインダーと、可塑剤とを混合したスラリーを作製し、スリップキャスト法により、厚み  $100 \sim 200 \mu\text{m}$  のセラミックグリーンシートを作製する。

【0031】このグリーンシートの片面に、内部電極3a、3bとなる銀-パラジウムを主成分とする導電性ペーストをスクリーン印刷法により  $1 \sim 10 \mu\text{m}$  の厚みに印刷する。この導電性ペーストを乾燥させた後、導電性

ペーストが塗布された複数のグリーンシートを所定の枚数だけ積層し、この積層体の積層方向の両端部に、導電性ペーストが塗布されていないグリーンシートを積層する。

【0032】次に、この積層体を50～200℃で加熱しながら加圧し、積層体を一体化する。一体化された積層体は所定の大きさに切断された後、400～800℃で5～40時間、脱バインダが行われ、900～1200℃で2～5時間焼成し、両端面に不活性部19を有するアクチュエータ本体1を得る。このアクチュエータ本体1の側面には、内部電極3a、3bの端部が露出している。

【0033】この後、アクチュエータ本体1を固定治具にセットし、所定の形状になるまで平面研削盤等を用いてアクチュエータ本体1の側面の加工を行う。

【0034】その後、アクチュエータ本体1の2つの対向する側面において、内部電極3a、3b端部が露出した部分を、深さ100～500μm、積層方向の高さhが20～50μmの凹溝7を形成し、該凹溝7内に一つ置きにAg-Pd等の導電性ペーストを充填した後、600～900℃で2～5時間焼成することにより導電体9を充填する。

【0035】そして、導電体9間の開口している凹溝7内にシリコンゴム等の絶縁体11を充填する。この後、金属薄板15をアクチュエータ本体1に当接した状態で、例えば、導電体9にスポット溶接、超音波溶接等の溶接手法、あるいは、ろう付け等の手法により固着し、この後、アクチュエータ本体1の側面および金属薄板15の表面に導電性接着剤17を塗布し、外部電極6a、6bが形成される。特に、導電性接着剤17を塗布し、真空引きすることにより、金属薄板15とアクチュエータ本体1との間に確実に充填することができる。

【0036】外部電極6a、6bの導電性接着剤17としてポリイミドを用いた場合について説明する。まず、導電性接着剤17として用いるポリイミド樹脂は、濃硫酸以外には溶解しない難溶解性の樹脂であるため、ポリイミドの前駆体であるポリアミック酸を適当な溶媒、例えば、N-メチル-2-ピロリドン(NMP)やテトラヒドロフラン(THF)などに溶解させ、ワニス状にする。このワニスに望みとする体積分率で導電剤を混合、混練し、ペースト状にする。

【0037】なお、混練の際には、3本ローラーミルの混練機を用いるのが望ましい。また、導電性接着剤17中に含有する導電剤としては、特にニッケル、銀、白金、金などの周期律表第6～9族の比較的体積固有抵抗が低い金属粉末を用いることが望ましい。

【0038】上記のようにして作製した導電性接着剤17のペーストを、導電体9と接続された金属薄板15の露出面、および外部電極6a、6bを形成するようにアクチュエータ本体1の所定の位置に塗布し、室温～40

0℃の空气中または窒素雰囲気中で溶媒を蒸発させるとともに、硬化反応を起こさせることにより、外部電極6a、6bを形成することができる。

【0039】この後、図示しないが、正極用および負極用の外部電極6a、6bにリード線を接続し、圧電アクチュエータの周囲にデッビング等の方法により、シリコンゴム等の被覆材を被覆する。さらに、正極、負極用の外部電極6a、6bに約1～3kV/mmの分極電界を印加し、圧電板2への分極処理を行い、本発明の積層型圧電アクチュエータが得られる。

【0040】尚、本発明の積層型圧電アクチュエータは、四角柱、六角柱、円柱等、どのような柱体であっても構わないが、切断の容易性から四角柱状が望ましい。

【0041】以上のように構成された積層型圧電アクチュエータでは、内部電極3a、3bと外部電極6a、6bが、アクチュエータ本体1内に埋設された、内部電極3a、3bの厚みよりも幅広の導電体9を介して接続されるため、内部電極3a、3bと外部電極6a、6bの剥離を抑制することができ、これにより、高い印加電界で高速で長期連続駆動させる場合においても、外部電極6a、6bと内部電極3a、3bが剥離や断線することなく高い耐久性を備えた信頼性の高い積層型圧電アクチュエータを提供することができる。

【0042】図3は、本発明の他の積層型圧電アクチュエータを示すもので、図3の積層型圧電アクチュエータでは、凹溝7内の導電体9に凹部21が形成されており、金属薄板15を被覆した導電性接着剤17が、導電体9の凹部21内に充填されている。図4は、図3の導電性接着剤17を除去した状態の側面図を示すもので、凹溝7および導電体9の凹部21は金属薄板15の幅よりも少々広く形成され、導電性接着剤17は凹溝7全体を覆うように形成されている。

【0043】この導電体9に形成される凹部21は、上記と同様のアクチュエータ本体1を得た後、アクチュエータ本体1の凹溝7内に導電体9を充填し、アクチュエータ本体1の凹溝7を形成する場合と同じピッチにおいて導電体9に深さ50～150μm、積層方向の高さ10～30μmの凹部21を形成する。その後、上記と同様にして、金属薄板15をアクチュエータ本体1に当接した状態で導電体9に固着し、導電体9表面を含むアクチュエータ本体1の側面、および金属薄板15の表面に導電性接着剤17を塗布し、導電性接着剤17を凹部21内に充填する。特に、真空引きすると導電性接着剤17を凹部21内に確実に充填できる。

【0044】このような積層型圧電アクチュエータでは、金属薄板15を被覆する導電性接着剤17が導電体9の凹部21内に充填されることにより、導電性接着剤17にアンカー効果が生じ、図1に示したように、アクチュエータ本体1の平面上で接着する場合よりも更に導電性接着剤17の固着力が増加し、これにより、内部電



極3a、3bと外部電極6a、6bの剥離をさらに抑制できる。

【0045】図5は、本発明のさらに他の積層型圧電アクチュエータを示すもので、図5の積層型圧電アクチュエータでは、凹溝7内の導電体9が外方へ向かって突出しており、この導電体9の突出部31に、外部電極6a、6bを構成する金属薄板15が当接した状態で固着されている。

【0046】この突出部31は、上記と同様のアクチュエータ本体1を得た後、凹溝7内に導電体9を充填し、乾燥した後、予めアクチュエータ本体1の凹溝7の導電体9が充填されている以外の部分にマスキングを行い、所定の突出部31が形成されるようなスクリーンパターンを用い、導電性ペーストを印刷、乾燥することにより、突出部31が形成される。その後、上記と同様にして、金属薄板15をアクチュエータ本体1に当接した状態で導電体9の突出部31に固着し、突出部31の周囲を含むアクチュエータ本体1の側面、および金属薄板15の表面に導電性接着剤17を塗布し、積層型圧電アクチュエータを得る。

【0047】以上のように構成された積層型圧電アクチュエータでも、金属薄板15とアクチュエータ本体1との間であって、突出部31の周囲に導電性接着剤17を充填することにより、外部電極6a、6bを構成する導電性接着剤17のアンカー効果により、アクチュエータ本体1の平面上で接着する場合よりも更に導電性接着剤17の固着力が増加し、これにより、内部電極3a、3bと外部電極6a、6bの剥離をさらに抑制できる。

【0048】図6および図7は、本発明のさらに他の積層型圧電アクチュエータを示すもので、図6の積層型圧電アクチュエータでは、金属薄板41が波板形状とされており、図7では、金属薄板45が金属メッシュにより形成されている。

【0049】このような積層型圧電アクチュエータでは、伸縮により外部電極6a、6bに応力が作用した場合においても、発生した応力を金属メッシュまたは波板形状の金属薄板41、45の変形により緩和でき、外部電極6a、6bの断裂を抑制できる。

【0050】

【実施例】PZTを主成分とする厚み200 $\mu$ mのグリーンシートにAg/Pdを主成分とする内部電極ペーストを厚み5 $\mu$ mで印刷形成した。内部電極ペーストが塗布されたグリーンシートを300枚積層し、この後、両面に内部電極ペーストが塗布されていないグリーンシートを積層し、加熱接合して一体化した。

【0051】積層体を縦10mm×横10mm×高さ40mmになるように切断し、最高温度700～800℃、20～30時間で脱バインダを行った。その後、最高温度900℃～1100℃で3～5時間焼成を行い、アクチュエータ本体を得た。

【0052】次に、得られたアクチュエータ本体を固定治具にセットし、アクチュエータ本体の側面の平面研削を行った。その後、図2に示した形状で、アクチュエータ本体の側面の内部電極が露出している部分（圧電板及び内部電極）をカット・ソーにより削除し、深さ方向に500 $\mu$ m、積層方向の高さh50 $\mu$ mの凹溝7を形成した。

【0053】この後、アクチュエータ本体1の凹溝7にAg-Pd(97:3)ペーストをディスペンサーを用いて注入し、充填を行った。そして、120℃で10分間予備乾燥させた後、900℃、2時間の焼成を行い、導電体9を形成した。

【0054】次に、導電体9の充填されていない凹溝7内にシリコンゴムを常温で塗布し、真空脱泡により充填した。その後、コパール箔からなる金属薄板15をアクチュエータ本体1の側面に配置し、導電体9の位置の金属薄板15を超音波溶接により接合した。

【0055】そして、銀ポリイミド樹脂からなる導電性接着剤17をアクチュエータ本体1の所定部分および金属薄板15表面に塗布し、220℃の乾燥炉にて硬化接着を行った。その後、リード線を金属薄板15に半田付けし、シリコンゴムにて全体を被覆し、正極および負極の外部電極6a、6bに2.5kV/mmの直流電界を30分間印加して分極処理を行ない、積層型圧電アクチュエータを得た。

【0056】そして、積層型圧電アクチュエータに応力20MPaを印加し、駆動電圧200Vにて変位量を確認したところ、40 $\mu$ mの変位量が得られた。次に、応力20MPaを印加し、0～200Vのパルス交番電界を周波数60Hzにて印加し、連続駆動試験を行った。

【0057】その結果、本発明の積層型圧電アクチュエータでは、駆動サイクル $1 \times 10^9$ 回でも破損はなく、変位量も40 $\mu$ mを維持した。外観上でスパーク跡は確認できなかったため、断面観察を行ったところ、外部電極6a、6bと内部電極3a、3bの剥離は生じていないことを確認した。

【0058】比較として、凹溝内に絶縁体だけ充填して一方の内部電極と絶縁するとともに、アクチュエータ本体に他方の内部電極の端部を露出させ、これに金属薄板をAgポリイミドで埋設した外部電極を接続した積層型圧電アクチュエータを作製し、同様の評価を行った結果、初期の評価においては、上記のサンプル同様、40 $\mu$ mの変位量を示した。その後、連続駆動試験を行ったところ、駆動サイクル $7 \times 10^7$ 回にて、外部電極がアクチュエータ本体から剥離し、内部電極から外部電極が剥離し、変位量が初期状態から大きく低下し、30 $\mu$ mとなった。

【0059】

【発明の効果】本発明の積層型圧電アクチュエータでは、内部電極と外部電極が、アクチュエータ本体内に埋



設された、内部電極の厚みよりも幅広の導電体を介して接続されるため、内部電極と外部電極の剥離を抑制することができる。これにより、高い印加電界で高速で長期連続駆動させる場合においても、外部電極と内部電極が剥離や断線することなく高い耐久性を備えた積層型圧電アクチュエータを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の積層型圧電アクチュエータを示す断面図である。

【図2】図1の一部を拡大して示す断面図である。

【図3】本発明の他の積層型圧電アクチュエータを示す断面図である。

【図4】図3の一部を拡大して示す側面図である。

【図5】本発明のさらに他の積層型圧電アクチュエータを示す断面図である。

【図6】波板形状の金属薄板を用いた場合の断面図であ

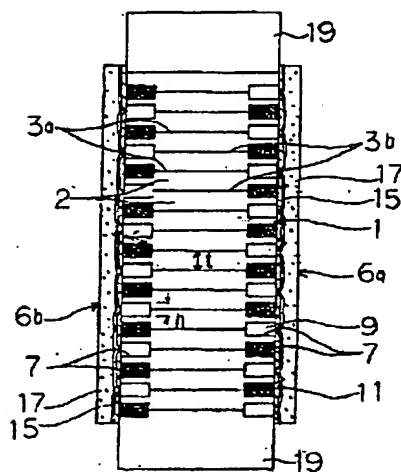
る。

【図7】金属メッシュからなる金属薄板を用いた場合の断面図である。

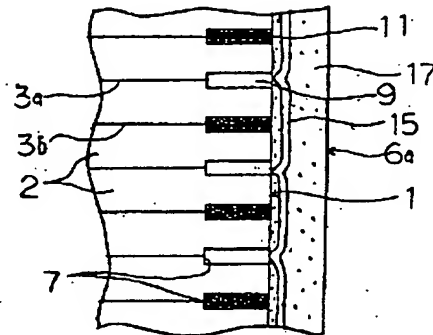
【符号の説明】

- 1・・・アクチュエータ本体
- 2・・・圧電体
- 3a、3b・・・内部電極
- 6a、6b・・・外部電極
- 7・・・凹溝
- 9・・・導電体
- 11・・・絶縁体
- 15、41、45・・・金属薄板
- 17・・・導電性接着剤
- 21・・・導電体の凹部
- 31・・・導電体の突出部

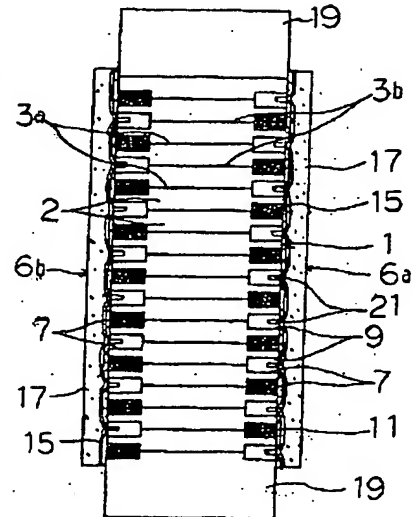
【図1】



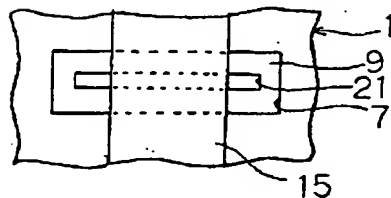
【図2】



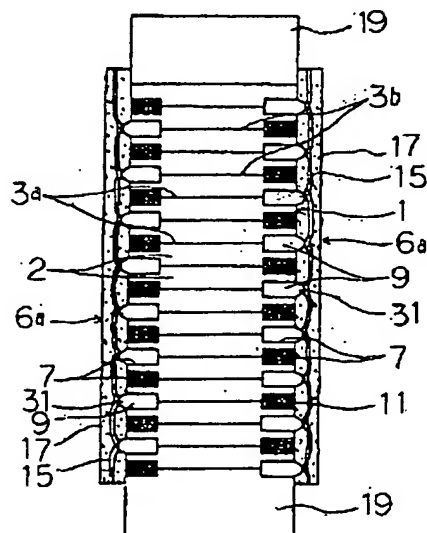
【図3】



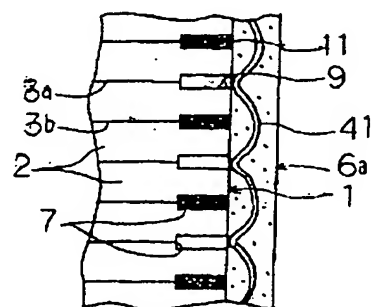
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

